

# Granulometría laser: Estudio comparativo con las técnicas de tamizado y elutriación aplicado a materiales puzolánicos

## *Laser granulometry: A comparative study the techniques of sieving and elutriation applied to pozzolanic materials*

M. FRIAS, M. I. SANCHEZ DE ROJAS, M. P. LUXAN y N. GARCIA  
ICCET/CSIC  
Madrid/ESPAÑA

Fecha de recepción: 8-I-1990

### RESUMEN

*La granulometría laser es un método rápido para determinar distribuciones de tamaños de partícula tanto en vía seca como en húmeda.*

*En este trabajo la técnica de difracción por rayos laser se aplica al estudio granulométrico de materiales puzolánicos en suspensión.*

*Estos análisis granulométricos se cotejan con los obtenidos con la técnica tamizador-neumático Alpine y elutriador-centrifugador Bahco.*

### SUMMARY

*Laser granulometry is a rapid method for determination of particle size distribution in both dry and wet phases.*

*The present paper, diffraction technique by laser beams is an application to the granulometric studies of pozzolanic materials in suspension.*

*Theses granulometric analysis are compared to those obtained with the Alpine pneumatic-siever and Bahco elutriator-centrifuge.*

### 1. INTRODUCCION

Los primeros trabajos de aplicación de la técnica de difracción por rayos laser a los materiales utilizados en el sector de la construcción, se basaron en estudios sobre cementos (1, 2).

Junto a ellos surgieron también algunos trabajos que relacionaban las técnicas tradicionales de determinaciones granulométricas con la técnica laser (3):

G. Pintor (4) realizó un estudio comparativo entre las técnicas Bahco y granulómetro laser sobre distintos tipos de cemento. H. Barrot y A. Bonnet (5) presentaron el

### 1. INTRODUCTION

*The first works reporting on the application of laser diffraction to materials used in construction were based on studies of cements (1, 2).*

*At the same time, other works were published that compared the traditional techniques used for granulometric determinations with the laser technique, (3):*

*G. Pintor (4) made a comparative study of the Bahco and laser granulometric techniques in different kinds of cement. H. Barrot and A. Bonnet (5) drew up the final*

informe final de la campaña internacional de ensayos entre laboratorios realizada por diferentes países europeos y coordinada por el C.E.R.I.L.H. En él se presentan, además de otros tipos de ensayos, los correspondientes a las granulometrías del cemento estudiado mediante diferentes técnicas, incluyendo la granulometría laser y el Bahco.

Sin embargo en la bibliografía no se encuentran estudios comparativos con diferentes técnicas granulométricas y la técnica laser realizados sobre otros materiales de construcción distintos al cemento y, en concreto, sobre los materiales puzolánicos.

Este es el objeto de este apartado, que constituye una contribución al análisis granulométrico de los materiales puzolánicos y para el que se han seleccionado las técnicas de tamizado para las partículas gruesas y la elutriación para las partículas finas, para comparar los resultados obtenidos con ellas frente a la técnica laser.

## 2. ESTUDIO EXPERIMENTAL

### 2.1. Materiales puzolánicos

Los materiales puzolánicos, seleccionados con distinto origen y composición, y procedentes de diferentes zonas geográficas españolas, alcanzan un total de muestras de 29, y se designan según la comunidad autónoma de procedencia (Tabla I).

*report of the International campaign of tests between laboratories coordinated by the C.E.R.I.L.H. in which several European countries participated. As well as other kinds of tests, those corresponding to the granulometries of cement studied by different techniques, including the Bahco and laser methods for determining granulometry, were offered.*

*However, the literature contains no references to comparative studies of different granulometric techniques and laser technique carried out on other building material different from cement; in particular pozzolanic materials.*

*This was the aim of the present work, which attempts to contribute to the granulometric analysis of pozzolanic materials. To do so, sieving and elutriation techniques were chosen for coarse and fine particles, respectively, then compare the results obtained with those obtained with the laser technique.*

## 2. EXPERIMENTAL

### 2.1. Pozzolan materials

*The pozzolanic materials, chosen with different origin and composition, were from various regions of Spain. The total number of samples was 29 and there were designated with the same name as the Autonomous Community from where they were taken (Table I).*

TABLA I (TABLE I)  
Materiales puzolánicos  
(Pozzolan materials)

N.º de muestras (Number of samples)	Zona geográfica (Geographic zone)	Designación (Designation)
9	C. Castilla-Mancha	C.C.M.
10	C. Murcia	C.M.
4	C. Andalucía	C.A. 1
4	C. Andalucía	C.A. 2
2	C. Canarias	C.C.

## 2.2. Técnicas

Además de la técnica de difracción de rayos láser para análisis granulométrico se han utilizado el tamizado y la elutriación y se comparan los resultados entre ellas.

### I. DIFRACCION POR RAYOS LASER

El principio de la difracción por rayos laser consiste en hacer pasar una muestra pulverulenta, en seco o en suspensión en un líquido no reactivo, a través de un rayo laser monocromático. Según la teoría de Fraunhofer se origina una figura de difracción en el detector. De este modo se consigue obtener el análisis granulométrico de las partículas.

El equipo utilizado en granulometría laser, es un espectrómetro por difracción de rayos laser tipo Sympatec Helos 12 KA. Las características del equipo se describen en anteriores trabajos (6, 7).

### II. TAMIZADO

Se ha utilizado el tamizador neumático Alpine, con los siguientes tamices de apertura de luz de malla: 125, 90, 63, 40 y 32  $\mu\text{m}$ . El porcentaje de muestra correspondiente a cada uno de los tamaños se calcula por pesada del residuo obtenido en cada uno de los tamices en relación al peso inicial de muestra.

### III. ELUTRIACION

El equipo utilizado ha sido el elutriador-centrifugador Bahco. La separación de cada una de las fracciones granulométricas se realiza mediante la suspensión de la muestra en un flujo de aire. Las partículas más gruesas caen, mientras que las partículas más finas son transportadas por el flujo de aire. Los resultados obtenidos están en relación con la densidad real del material. El cálculo de valores se realiza a partir de un calibrado previo de cada aparato que proporciona unas constantes características de cada equipo.

## 2.3. Resultados experimentales

Los resultados granulométricos obtenidos mediante el tamizador-neumático Alpine, se

## 2.2. Techniques

*As well as the technique of laser diffraction for granulometric analysis, sieving and elutriation were used, comparing the results obtained with both.*

### I. LASER DIFFRACTION

*The principle of diffraction by laser beam is based on passing a pulverized sample, either dry or in a non-reactive liquid, through a monochromatic laser beam. According to the Fraunhofer's theory a diffraction image appear on the detector. It is in this way, then possible to obtain a granulometric analysis of the particles sizes.*

*The equipment used is a laser beam diffraction spectrometer, Sympatec Helos KA. The characteristics of the apparatus have been described in forward works (6, 7).*

### II. SIEVING

*An Alpine pneumatic-siever was used with the following sieves: 125, 90, 63, 40 and 32  $\mu\text{m}$ . The percentage of sample corresponding to each size was calculated by weighing the residue obtained in each of the sieves as compared with the initial weight of the sample.*

### III. ELUTRIATION

*The Bahco elutriator-centrifuge was used. Separation of each of the granulometric fractions is achieved by suspending the sample in a stream of air. In this way, the heaviest particle fall while the lighter ones are carried out by the air flow. The results obtained refer to the relative density of the material. Calculation of values was carried out by previously calibrating each apparatus, which afford constants characteristic of each one.*

## 2.3. Experimental results

*The results on granulometric analysis obtained with the Alpine pneumatic siever*

exponen en las Tablas II, III y IV expresados como residuos inferiores acumulados (% en peso); mientras que con la técnica elutriador-centrifugador Bahco se recopilan en las Tablas V, VI, VII, VIII y IX. En este último caso, también se incluyen los valores de los diámetros equivalentes que corresponden al número de galga y los respectivos intervalos de los diámetros reales, según el peso específico de las muestras de las diferentes zonas geográficas.

Posteriormente, estos valores granulométricos se comparan con los obtenidos por laser por vía húmeda.

are shown in Tables II, III and IV, expressed as lowest residues accumulated (% weight); while with Bahco elutriator-centrifuge the results are compiled in the Tables V, VI, VII, VIII and IX. The last tables also shows the values of the equivalent diameters corresponding to the throttle number and the respective ranges of the real diameters, according to the specific weight of the samples from the different geographic regions.

These granulometric values were then compared with those obtained with the laser technique, by liquid phase.

TABLA II (TABLE II)  
Análisis granulométrico por tamizado  
(Granulometric analysis by sieving)

TAMIZ Luz de malla ( $\mu$ m)	RESIDUO INFERIOR (%)								
	CCM - 1	CCM - 2	CCM - 3	CCM - 4	CCM - 5	CCM - 6	CCM - 7	CCM - 8	CCM - 9
32	78,4	76,9	73,2	78,4	64,8	77,0	61,8	65,8	58,0
40	84,3	84,4	80,1	86,4	75,1	84,5	74,5	75,3	77,4
63	93,1	94,4	91,8	95,2	90,0	94,8	89,0	88,3	92,5
90	99,0	99,0	98,9	99,3	99,9	99,3	99,0	98,9	98,5
125	99,8	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	99,9	99,8

TABLA III (TABLE III)  
Análisis granulométrico por tamizado  
(Granulometric analysis by sieving)

TAMIZ Luz de malla ( $\mu$ m)	RESIDUO INFERIOR (%)									
	CM - 1	CM - 2	CM - 3	CM - 4	CM - 5	CM - 6	CM - 7	CM - 8	CM - 9	CM -10
32	66,8	81,2	71,5	73,2	74,1	78,2	63,7	84,2	79,4	76,1
40	75,8	86,4	80,1	81,1	84,6	85,1	73,8	87,9	85,2	81,9
63	90,6	95,4	92,4	93,6	96,0	95,0	90,5	94,7	94,9	90,6
90	98,0	99,4	98,5	98,8	99,0	99,0	98,5	99,0	99,7	97,0
125	99,6	99,7	99,7	99,8	99,8	100,0	100,0	99,8	99,9	99,1

TABLA IV (TABLE IV)

Análisis granulométrico por tamizado (*Granulometric analysis by sieving*)

TAMIZ Luz de malla ( $\mu\text{m}$ )	RESIDUO INFERIOR (%)									
	CAI- 1	CAI- 2	CAI- 3	CAI- 4	CAII-1	CAII-2	CAII-3	CAII-4	CC - 1	CC - 2
32	66,4	58,1	57,5	56,7	75,5	86,3	74,7	77,2	74,4	79,5
40	71,8	64,9	67,0	63,5	81,5	91,0	82,5	84,9	80,5	83,3
63	85,9	81,5	82,6	76,7	92,2	96,9	95,0	93,7	92,6	94,5
90	97,0	96,8	94,8	88,6	98,0	98,5	99,0	98,8	98,7	99,8
125	98,6	98,5	96,8	91,7	99,8	99,4	100,0	99,8	99,3	100,0

TABLA V (TABLE V)

Análisis granulométrico por elutriación-centrifugación (*Granulometric analysis by elutriation-centrifugation*)

Galgas nº	Diámetro Equivalente ( $\mu\text{m}$ )	Diámetro Real ( $\mu\text{m}$ )	RESIDUO INFERIOR (%)								
			CCM -1	CCM -2	CCM -3	CCM -4	CCM -5	CCM -6	CCM -7	CCM -8	CCM -9
18	3,25	1,9 - 2,0	7,5	9,1	6,2	6,4	7,9	6,0	6,3	5,9	7,7
17	5,4	3,1 - 3,3	15,5	16,9	13,4	13,0	14,0	12,8	12,5	13,5	15,4
16	8,8	5,1 - 5,4	27,6	31,0	24,8	23,1	23,1	22,4	22,3	21,9	25,4
14	19,3	11,2 - 11,8	45,8	50,0	45,2	40,9	35,5	40,5	36,7	34,9	38,6
12	30	17 - 18	58,4	61,3	56,8	55,0	47,3	56,1	47,4	47,2	48,6
8	49	28 - 30	69,6	70,9	66,4	67,7	59,2	68,9	58,1	58,2	58,5
4	60	34 - 37	73,6	74,8	70,3	72,3	63,4	73,6	62,4	62,2	63,3
0	68	40 - 42	76,0	77,1	72,8	75,2	66,6	76,3	65,3	65,1	66,0

TABLA VI (TABLE VI)

Análisis granulométrico por elutriación-centrifugación (*Granulometric analysis by elutriation-centrifugation*)

Galgas nº	Diámetro Equivalente ( $\mu\text{m}$ )	Diámetro Real ( $\mu\text{m}$ )	RESIDUO INFERIOR (%)									
			CM - 1	CM - 2	CM - 3	CM - 4	CM - 5	CM - 6	CM - 7	CM - 8	CM - 9	CM -10
18	3,25	2,00 - 2,10	3,0	9,6	7,6	7,4	7,7	8,3	5,0	8,3	6,5	9,9
17	5,4	3,3 - 3,5	7,3	19,3	14,5	13,1	16,7	16,9	10,2	16,2	13,5	16,2
16	8,8	5,3 - 5,8	17,6	34,2	23,7	24,0	29,8	30,0	18,1	28,8	23,6	29,2
14	19,3	11,7 - 12,7	33,3	52,5	37,3	40,8	49,5	47,7	31,0	50,3	41,6	46,2
12	30	18 - 20	48,9	64,8	50,3	55,6	63,6	60,3	45,9	61,5	55,6	59,9
8	49	30 - 32	63,6	75,0	63,7	70,0	77,4	72,2	61,9	71,1	67,2	69,6
4	60	36 - 39	69,8	79,0	69,1	75,7	82,5	76,9	68,4	74,7	71,8	75,0
0	68	41 - 45	73,6	86,3	72,5	78,9	85,3	79,4	72,3	76,7	74,6	77,2

TABLA VII (TABLE VII)

Análisis granulométrico por elutriación-centrifugación  
(*Granulometric analysis by elutriation-centrifugation*)

Galga nº	Diámetro Equivalente ( $\mu\text{m}$ )	Diámetro Real ( $\mu\text{m}$ )	RESIDUO INFERIOR (%)			
			CAI -1	CAI -2	CAI -3	CAI -4
18	3,25	1,95 - 2,08	6,1	5,5	4,3	7,7
17	5,4	3,2 - 3,5	12,3	10,8	8,6	13,7
16	8,8	5,3 - 5,6	20,7	17,5	15,0	23,3
14	19,3	11,6 - 12,4	32,6	26,6	27,7	34,6
12	30	18 - 19	45,3	38,2	42,8	45,6
8	49	29 - 31	58,1	51,0	59,7	55,7
4	60	36 - 38	64,5	57,1	66,5	60,1
0	68	41 - 49	67,6	60,8	70,4	62,5

TABLA VIII (TABLE VIII)

Análisis granulométrico por elutriación-centrifugación  
(*Granulometric analysis by elutriation-centrifugation*)

Galga nº	Diámetro Equivalente ( $\mu\text{m}$ )	Diámetro Real ( $\mu\text{m}$ )	RESIDUO INFERIOR (%)			
			CAII-1	CAII-2	CAII-3	CAII-4
18	3,25	1,97 - 2,10	9,2	9,8	10,9	7,4
17	5,4	3,3 - 3,5	18,0	24,0	21,0	16,0
16	8,8	5,3 - 5,7	31,0	40,0	33,0	27,0
14	19,3	11,7 - 12,5	50,1	64,8	50,6	46,0
12	30	18,2 - 19,4	59,0	75,0	59,0	59,0
8	49	30 - 32	69,7	82,7	69,0	71,9
4	60	36,4 - 38,7	76,0	87,0	77,0	79,0
0	68	41,2 - 43,9	80,0	89,5	82,0	82,0

TABLA IX (TABLE IX)

Análisis granulométrico por elutriación-centrifugación  
(*Granulometric analysis by elutriation-centrifugation*)

Galga nº	Diámetro Equivalente ( $\mu\text{m}$ )	Diámetro Real ( $\mu\text{m}$ )	RESIDUO INFERIOR (%)	
			CC - 1	CC - 2
18	3,25	2,06 - 2,30	9,2	7,1
17	5,4	3,4 - 3,8	19,6	16,2
16	8,8	5,6 - 6,2	32,7	28,5
14	19,3	12,2 - 13,5	48,8	47,7
12	30	19 - 21	61,3	61,1
8	49	31 - 34,3	72,5	73,1
4	60	38 - 42	76,8	77,7
0	68	43 - 47,6	78,9	80,1

Los resultados obtenidos mediante la técnica laser han sido presentados en tablas separadas de 36 a 175  $\mu\text{m}$  (Tablas X-XVI) y 0,9 a 30  $\mu\text{m}$  (Tablas XVII-XXIII) para su mejor contraste con la

*The results obtained with the laser technique are presented in separate tables ranging from 36 to 175  $\mu\text{m}$  (Tables X-XVI) and 0,9 to 30  $\mu\text{m}$  (Tables XVII-XXIII) for better contrast with the*

técnica de tamizado y elutriación, respectivamente.

Para ello, se seleccionaron en el caso del Alpine los tamices de luz de malla de 90 y 45  $\mu\text{m}$ , por estar recogidos en la normativa española sobre adiciones (cenizas volantes al hormigón), según la norma UNE 83 415 (8).

Los estudios comparativos con la técnica Bahco se llevaron a cabo con el tamaño de partícula correspondiente a los diámetros reales de 18 y 1,9  $\mu\text{m}$ , por ser dos tamaños particularmente menos reproducibles, y por situarse en la curva granulométrica en la zona de máxima pendiente y en su extremo inferior, respectivamente.

sieving and elutriation techniques, respectively.

To accomplish this, for the Alpine apparatus with 90 and 45  $\mu\text{m}$  sieves were chosen because these are specified in Spanish standards concerning additions (fly ashes to concrete), according to UNE 83 415 standard (8).

The comparative studies with the Bahco technique were carried out with the particle size corresponding to real diameters of 18 and 1.9  $\mu\text{m}$  because these sizes are particularly difficult to reproduce and since on the granulometry curve they are situated in the zone of maximum slope and on the minimum end, respectively.

TABLA X (TABLE X)

Análisis granulométrico por difracción de rayos laser

(Granulometric analysis by laser diffraction)

TAMAÑO DE PARTICULA ( $\mu\text{m}$ )	RESIDUO INFERIOR (%)				
	CCM- 1	CCM- 2	CCM- 3	CCM- 4	CCM- 5
36,0	82,4	81,2	78,0	80,5	71,1
43,0	86,4	85,1	81,9	85,1	75,8
51,0	89,9	88,7	85,8	89,1	80,6
61,0	93,3	92,5	89,9	93,0	85,9
73,0	96,4	96,0	94,2	96,4	91,5
87,0	98,8	98,8	97,8	98,9	96,5
103,0	100,0	100,0	99,9	100,0	99,5
123,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0
147,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0
175,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0

TABLA XI (TABLE XI)

Análisis granulométrico por difracción de rayos laser

(Granulometric analysis by laser diffraction)

TAMAÑO DE PARTICULA ( $\mu\text{m}$ )	RESIDUO INFERIOR (%)			
	CCM- 6	CCM- 7	CCM- 8	CCM- 9
36,0	80,0	70,4	69,8	72,3
43,0	84,6	75,1	74,5	77,0
51,0	88,7	79,8	79,3	81,9
61,0	92,7	85,3	84,8	87,4
73,0	96,3	91,2	90,8	93,0
87,0	98,9	96,3	96,1	97,6
103,0	100,0	99,5	99,4	100,0
123,0	100,0	100,0	100,0	100,0
147,0	100,0	100,0	100,0	100,0
175,0	100,0	100,0	100,0	100,0

TABLA XII (TABLE XII)

Análisis granulométrico por difracción de rayos laser

(Granulometric analysis by laser diffraction)

TAMAÑO DE PARTICULA ( $\mu\text{m}$ )	RESIDUO INFERIOR (%)				
	CM - 1	CM - 2	CM - 3	CM - 4	CM - 5
36,0	72,0	82,0	68,8	75,1	77,3
43,0	77,7	85,9	74,8	80,2	82,9
51,0	83,2	89,5	80,7	85,0	88,1
61,0	88,8	93,1	86,9	89,9	93,0
73,0	94,0	96,4	92,8	94,5	97,0
87,0	98,0	98,8	97,4	98,1	99,4
103,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0
123,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0
147,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0
175,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0

TABLA XIII (TABLE XIII)

Análisis granulométrico por difracción de rayos laser

(Granulometric analysis by laser diffraction)

TAMAÑO DE PARTICULA ( $\mu\text{m}$ )	RESIDUO INFERIOR (%)				
	CM - 6	CM - 7	CM - 8	CM - 9	CM - 10
36,0	75,9	65,3	84,4	80,3	82,7
43,0	80,6	71,9	87,7	84,7	86,6
51,0	85,2	78,4	90,6	88,7	89,9
61,0	89,9	85,3	93,6	92,6	93,2
73,0	94,4	91,8	96,5	96,1	96,3
87,0	98,1	97,0	98,8	98,8	98,7
103,0	100,0	99,8	100,0	100,0	100,0
123,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0
147,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0
175,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0

TABLA XIV (TABLE XIV)

Análisis granulométrico por difracción de  
rayos laser

(Granulometric analysis by laser diffraction)

TAMAÑO DE PARTICULA ( $\mu\text{m}$ )	RESIDUO INFERIOR (%)			
	CAI- 1	CAI- 2	CAI- 3	CAI- 4
36,0	57,3	69,1	64,8	70,7
43,0	63,7	74,7	71,7	75,5
51,0	70,2	80,0	78,3	80,0
61,0	77,7	85,6	85,2	84,7
73,0	85,6	91,1	91,6	89,4
87,0	92,7	95,8	96,7	93,6
103,0	97,7	98,9	99,9	96,7
123,0	100,0	100,0	100,0	98,8
147,0	100,0	100,0	100,0	98,8
175,0	100,0	100,0	100,0	100,0

TABLA XV (TABLE XV)

Análisis granulométrico por difracción de  
rayos laser

(Granulometric analysis by laser diffraction)

TAMAÑO DE PARTICULA ( $\mu\text{m}$ )	RESIDUO INFERIOR (%)			
	CAII-1	CAII-2	CAII-3	CAII-4
36,0	82,4	94,1	84,3	78,3
43,0	85,9	96,3	87,5	83,0
51,0	89,4	98,8	90,7	87,3
61,0	93,0	99,2	94,0	91,5
73,0	96,4	99,9	97,0	95,4
87,0	98,9	100,0	99,2	98,4
103,0	100,0	100,0	100,0	100,0
123,0	100,0	100,0	100,0	100,0
147,0	100,0	100,0	100,0	100,0
175,0	100,0	100,0	100,0	100,0

TABLA XVI (TABLE XVI)

Análisis granulométrico por difracción de rayos laser

(Granulometric analysis by  
laser diffraction)

TAMAÑO DE PARTICULA ( $\mu\text{m}$ )	RESIDUO INFERIOR (%)	
	CC - 1	CC - 2
36,0	83,5	83,5
43,0	87,3	87,3
51,0	90,8	90,8
61,0	94,3	94,3
73,0	97,3	97,3
87,0	99,3	99,3
103,0	100,0	100,0
123,0	100,0	100,0
147,0	100,0	100,0
175,0	100,0	100,0

TABLA XVII (TABLE XVII)

Análisis granulométrico por difracción de rayos laser

(Granulometric analysis by laser diffraction)

TAMAÑO DE PARTICULA ( $\mu\text{m}$ )	RESIDUO INFERIOR (%)				
	CCM- 1	CCM- 2	CCM- 3	CCM- 4	CCM- 5
0,9	4,3	5,0	4,6	4,7	4,4
1,1	6,2	7,3	6,7	6,7	6,4
1,3	7,9	9,3	8,5	8,5	8,2
1,5	9,4	11,2	10,2	10,1	9,8
1,8	11,4	13,7	12,4	12,2	12,0
2,2	13,9	16,8	15,1	14,7	14,7
2,6	16,2	19,7	17,5	17,0	17,1
3,1	18,8	22,9	20,3	19,5	19,7
3,7	21,8	26,4	23,4	22,3	22,5
4,3	24,8	29,7	26,1	25,0	24,9
5,0	28,0	33,2	29,2	27,9	27,5
6,0	32,4	37,7	33,3	31,7	30,8
7,5	38,2	43,5	38,7	36,8	34,9
9,0	43,2	48,2	43,4	41,1	38,5
10,5	47,6	52,1	47,5	45,0	41,5
12,5	52,7	56,4	52,1	49,6	45,2
15,0	58,2	60,9	56,9	54,9	49,3
18,0	63,7	65,4	61,7	60,5	53,7
21,0	68,3	69,2	65,5	65,2	57,7
25,0	73,1	73,2	69,7	70,3	61,9
30,0	77,9	77,2	73,9	75,5	66,4



**TABLA XVIII (TABLE XVIII)**  
**Análisis granulométrico por difracción de**  
**rayos laser**  
*(Granulometric analysis by laser diffraction)*

TAMAÑO DE PARTICULA ( $\mu\text{m}$ )	RESIDUO INFERIOR (%)			
	CCM- 6	CCM- 7	CCM- 8	CCM- 9
0,9	4,1	4,3	4,3	4,8
1,1	5,9	6,1	6,1	6,8
1,3	7,6	7,8	7,8	8,7
1,5	9,0	9,2	9,3	10,5
1,8	11,0	11,2	11,4	12,9
2,2	13,4	13,6	13,9	15,8
2,6	15,6	15,7	16,1	18,3
3,1	18,1	18,1	18,6	21,3
3,7	20,8	20,8	21,2	24,5
4,3	23,4	23,3	23,7	27,4
5,0	26,2	26,1	26,2	30,5
6,0	30,0	29,8	29,5	34,2
7,5	35,1	34,4	33,6	38,7
9,0	39,6	38,2	37,1	42,2
10,5	43,7	41,5	40,2	45,2
12,5	48,6	45,2	43,9	48,6
15,0	54,0	49,3	48,0	52,3
18,0	59,7	53,6	52,5	56,3
21,0	64,5	57,3	56,3	59,7
25,0	69,7	61,5	60,7	63,6
30,0	74,9	65,9	65,2	67,8

TAMAÑO DE PARTICULA ( $\mu\text{m}$ )	RESIDUO INFERIOR (%)				
	CM - 1	CM - 2	CM - 3	CM - 4	CM - 5
0,9	2,4	5,4	3,4	3,2	2,8
1,1	3,5	7,7	4,9	4,7	4,1
1,3	4,6	9,9	6,2	6,1	5,4
1,5	5,7	11,9	7,5	7,5	6,6
1,8	7,4	14,7	9,3	9,4	8,3
2,2	9,5	18,0	11,4	11,7	10,5
2,6	11,5	21,0	13,4	14,0	12,6
3,1	13,9	24,4	15,5	16,6	15,3
3,7	16,6	28,2	17,8	19,6	18,0
4,3	19,1	31,6	19,8	22,4	20,7
5,0	21,8	35,3	22,0	25,4	23,7
6,0	25,2	39,8	24,8	29,3	27,5
7,5	29,8	45,4	28,6	34,2	32,6
9,0	33,7	49,8	32,0	38,4	36,8
10,5	37,3	53,4	35,0	42,0	40,6
12,5	41,5	57,4	38,7	46,2	45,0
15,0	46,2	61,8	43,0	50,9	50,1
18,0	51,3	66,1	47,8	55,8	55,5
21,0	55,7	69,8	52,1	60,0	60,2
25,0	60,8	73,8	57,2	64,8	65,6
30,0	66,3	77,9	62,8	69,9	71,4

**TABLA XIX (TABLE XIX)**  
**Análisis granulométrico por difracción de**  
**rayos laser**  
*(Granulometric analysis by laser diffraction)*

**TABLA XX (TABLE XX)**  
**Análisis granulométrico por difracción de**  
**rayos laser**  
*(Granulometric analysis by laser diffraction)*

TAMAÑO DE PARTICULA ( $\mu\text{m}$ )	RESIDUO INFERIOR (%)				
	CM - 6	CM - 7	CM - 8	CM - 9	CM - 10
0,9	4,7	2,0	5,8	4,4	5,3
1,1	6,7	2,9	8,2	6,2	7,6
1,3	8,6	3,8	10,5	7,9	9,6
1,5	10,3	4,7	12,5	9,4	11,4
1,8	12,6	5,9	15,3	11,4	13,9
2,2	15,5	7,5	18,6	13,9	16,7
2,6	18,1	9,1	21,6	16,1	19,2
3,1	21,0	10,9	25,0	18,6	22,0
3,7	24,2	13,0	28,7	21,6	25,0
4,3	27,1	14,9	32,2	24,4	27,8
5,0	30,2	17,0	35,9	27,5	30,8
6,0	34,0	19,7	40,7	31,6	34,8
7,5	38,6	23,3	46,7	37,0	40,8
9,0	42,4	26,5	51,7	41,5	44,5
10,5	45,6	29,5	55,7	45,5	48,4
12,5	49,5	33,2	60,2	50,2	53,8
15,0	53,8	37,6	64,9	55,5	58,4
18,0	58,3	42,5	69,5	60,9	63,9
21,0	62,2	47,0	73,2	65,5	68,4
25,0	66,5	52,6	77,1	70,5	73,4
30,0	71,1	58,7	80,8	75,5	78,2

TABLA XXI (TABLE XXI)

Análisis granulométrico por difracción de  
rayos laser

(Granulometric analysis by laser diffraction)

TAMAÑO DE PARTÍCULA ( $\mu\text{m}$ )	RESIDUO INFERIOR (%)			
	CAI- 1	CAI- 2	CAI- 3	CAI- 4
0,9	2,2	2,9	1,7	3,0
1,1	3,2	4,3	2,6	4,3
1,3	4,1	5,6	3,4	5,5
1,5	5,0	6,8	4,2	6,7
1,8	6,2	8,5	5,3	8,4
2,2	7,7	10,7	6,7	10,4
2,6	9,1	12,6	8,1	12,3
3,1	10,7	15,0	9,8	14,5
3,7	12,5	17,5	11,8	17,0
4,3	14,2	19,9	13,6	19,3
5,0	16,0	22,4	15,6	21,7
6,0	18,3	25,5	18,2	25,0
7,5	21,3	29,6	21,8	29,3
9,0	24,0	33,0	25,0	33,1
10,5	26,4	36,1	28,0	36,5
12,5	29,5	39,8	31,7	40,7
15,0	33,1	44,1	36,2	45,5
18,0	37,3	48,9	41,2	50,7
21,0	41,2	53,1	45,9	55,3
25,0	45,9	58,1	51,6	60,4
30,0	51,3	63,5	58,0	65,6

TABLA XXII (TABLE XXII)

Análisis granulométrico por difracción de  
rayos laser

(Granulometric analysis by laser diffraction)

TAMAÑO DE PARTÍCULA ( $\mu\text{m}$ )	RESIDUO INFERIOR (%)			
	CAII-1	CAII-2	CAII-3	CAII-4
0,9	4,4	3,8	4,9	4,9
1,1	6,4	5,5	7,3	7,0
1,3	8,4	7,2	9,6	9,1
1,5	10,3	8,9	11,9	11,0
1,8	13,1	11,3	15,3	13,7
2,2	16,6	14,6	19,7	17,0
2,6	20,1	17,9	24,0	19,9
3,1	24,2	22,1	29,1	23,1
3,7	28,9	27,3	34,8	26,4
4,3	33,4	32,5	39,9	29,3
5,0	38,1	38,4	45,0	32,2
6,0	44,0	46,1	50,9	35,7
7,5	50,9	55,6	57,3	40,1
9,0	55,9	62,9	61,6	43,8
10,5	59,5	68,3	64,6	46,9
12,5	62,9	73,6	67,6	50,6
15,0	66,3	78,5	70,6	54,8
18,0	69,8	82,8	73,6	59,5
21,0	72,7	85,9	75,9	63,7
25,0	75,8	88,8	78,5	68,4
30,0	79,0	91,5	81,3	73,3

TABLA XXIII (TABLE XXIII)

Análisis granulométrico por difracción de rayos laser

(Granulometric analysis by  
laser diffraction)

TAMAÑO DE PARTÍCULA ( $\mu\text{m}$ )	RESIDUO INFERIOR (%)	
	CC - 1	CC - 2
0,9	4,9	5,4
1,1	7,3	8,0
1,3	9,5	10,4
1,5	11,6	12,8
1,8	14,7	16,1
2,2	18,5	20,2
2,6	22,0	24,0
3,1	26,0	28,2
3,7	30,7	32,7
4,3	34,0	36,5
5,0	37,8	40,2
6,0	42,3	44,7
7,5	47,7	49,8
9,0	51,9	53,8
10,5	55,3	57,1
12,5	59,1	60,7
15,0	63,3	64,7
18,0	67,7	68,8
21,0	71,4	72,2
25,0	75,4	75,9
30,0	79,4	79,6

### 3. DISCUSION

El estudio granulométrico se ha realizado agrupando las muestras que proceden de la misma zona geográfica. Todas las muestras son diferentes y por tanto los valores ofrecidos corresponden a los intervalos que presentan cada una de las

### 3. DISCUSSION

The granulometric study have been realized on the whole samples from the same geographic area. All the samples are different and hence the offered values in the figures correspond to the ranges for each localization. Handle all the

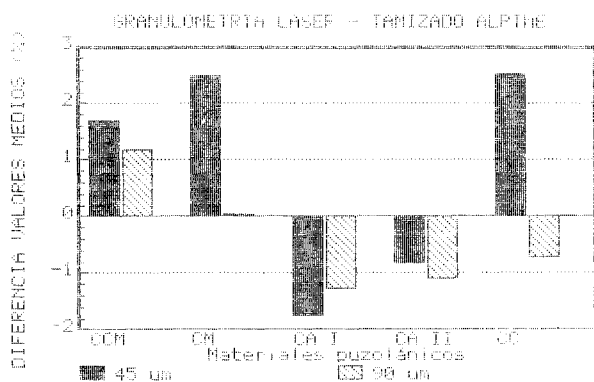


Fig. 1.—Granulometría laser. Tamizado Alpine.  
Fig. 1.—(Laser granulometry · Alpine sieve).

localizaciones. Se han recopilado el conjunto de todas las medidas sin eliminar ninguno de los valores.

En las figuras 1 y 2 se muestra una representación de las diferencias de los valores medios, en %, de los resultados granulométricos de los materiales puzolánicos englobados en cada una de las zonas geográficas, tanto por el método Alpine como por el Bahco respectivamente, en relación con el laser.

La consecuencia inmediata que se puede desprender del análisis de estos ensayos comparativos es que los resultados obtenidos por tamizado son próximos a los encontrados por difracción laser, y los valores que proporcionan los tamices son superiores o inferiores a los obtenidos por laser dependiendo de la zona geográfica, esto es, de la propia muestra estudiada (Fig. 1).

En lo que concierne a la elutriación (Fig. 2), las diferencias de los valores medios de los tamaños de partícula encontradas en los materiales puzolánicos se sitúan siempre por debajo de los valores correspondientes obtenidos por la técnica laser.

En la figura 3 se ofrecen las diferencias (en valor absoluto) de los valores medios (%) de los diferentes materiales puzolánicos, indicados según las designaciones ya dadas, entre los tamaños de partículas obtenidos por el tamizador Alpine a 45 y 90 µm, junto a los procedentes de la aplicación de la técnica laser.

Se destaca que las mayores desviaciones correspondientes al tamaño de partícula de 45 µm, mientras que a 90 µm las

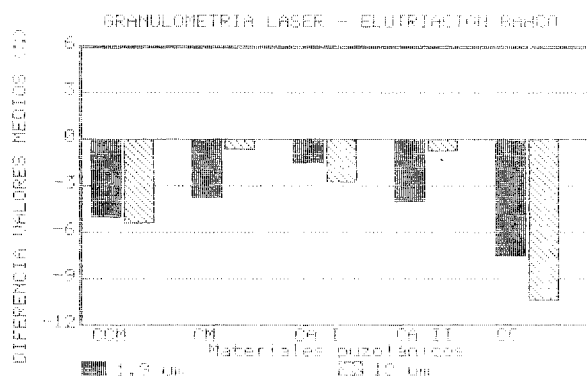


Fig. 2.—Granulometría laser. Elutriación Bahco.  
Fig. 2.—(Laser granulometry · Bahco elutriation).

measurements and not omit any of the values have been preferred.

Figure 1 and 2 show the plot of the differences in the mean values, in %, of the results on the granulometry of the pozzolanic materials studied both with the Alpine and Bahco methods, respectively, as compared with the laser method.

The immediate conclusion to be inferred from the analysis of these comparative tests is that the results obtained by sieving are similar to those obtained by laser diffraction and the values afforded with the sieves are higher or lower than those obtained with the laser, depending on the geographic zone of origin; that is, depending on the sample studied itself. (Fig. 1).

Regarding elutriation (Fig. 2) the differences in the mean values of the particle sizes found in the pozzolanic materials were always lower than the corresponding values obtained with the laser technique.

Figure 3 shows the differences (in absolute value) of the mean values (%) of the different pozzolanic materials, indicated according to the aforementioned designations, between the particle sizes obtained with the Alpine sieve at 45 and 90 µm., together with those obtained with the laser technique.

It may be seen that the greatest deviations correspond to the 45 µm particle size while at 90 µm, in most cases, the differences

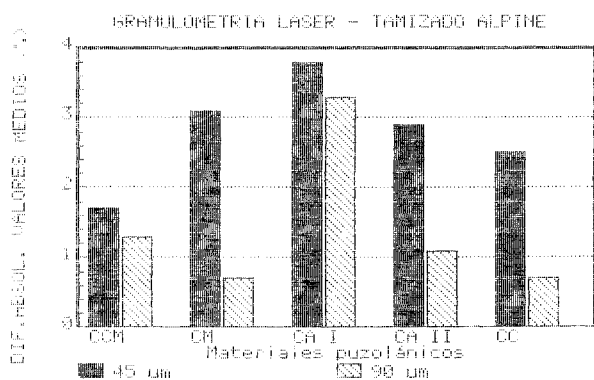


Fig. 3.—Granulometría laser. Tamizado Alpine.  
Fig. 3.—(Laser granulometry · Alpine sieve).

diferencias entre los valores medios obtenidos, en la mayoría de los casos, se encuentran próximas al 1 % incluso inferiores.

De modo análogo, las diferencias (en valor absoluto) de los resultados encontrados por la técnica elutriación-centrifugación, en conjunto con los respectivos hallados mediante la técnica laser, se recogen en la figura 4. En su observación queda de manifiesto que las diferencias más notables corresponden al tamaño de 18 µm de diámetro de partícula.

Estas variaciones granulométricas detectadas en los materiales puzolánicos al estudiar los resultados de la aplicación de técnicas diferentes no son totalmente generalizables para cualquier otro material.

Así, por ejemplo, en los estudios llevados a cabo sobre un cemento portland, durante una campaña de ensayos interlaboratorios (1985-86) en la que participó el Instituto c.c. Eduardo Torroja y que fue dirigida por el C.E.R.I.L.H. (9), se encontró una desviación creciente de los valores obtenidos por el Bahco respecto del laser, a medida que disminuye el tamaño de partícula, presentando por tanto mayor variación entre ambas técnicas conforme el diámetro de las partículas es menor, tal como se presenta en la figura 5. En ella se recogen los valores granulométricos medios de la muestra de cemento portland calculados estadísticamente a partir de los resultados obtenidos por los distintos laboratorios. Esta tendencia se contrapondría a la observada a través de la representación de la figura 4, para las diferencias de los valores medios de los tamaños granulométricos obtenidos por el Bahco frente a aquellos que proporciona el laser, cuando se toman en valor absoluto. No obstante, cuando no se hace uso de este concepto, la relación entre los resultados por las dos técnicas Bahco y laser tendría el mismo sentido (Fig. 2).

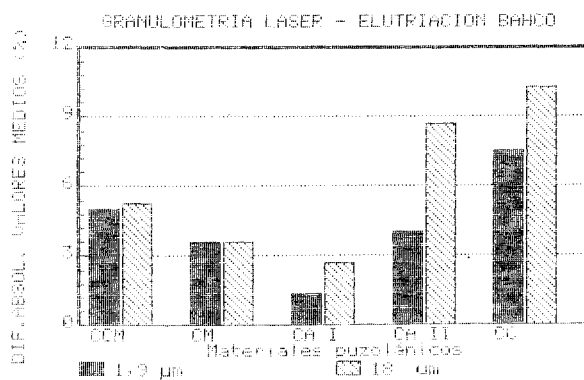


Fig. 4.—Granulometría laser. Elutriación Bahco.  
Fig. 4.—(Laser granulometry · Bahco elutriation).

among the mean values obtained are close to 1 % or even less.

Similarly, the differences (in absolute value) in the results obtained using the elutriation-centrifugation technique together with those found with the laser method are shown in figure 4. Upon observation it is apparent that the most striking differences correspond to the 18 µm particle diameter.

These granulometric variations observed in the pozzolanic materials on studying the results of the application of different techniques cannot be extrapolated in a generalized fashion to any other material.

Thus, for example, in studies carried out on a Portland cement during a campaign of tests among laboratories (1985-86) in which the Eduardo Torroja Institute participated and that was directed by the C.E.R.I.L.H. (9), an increasing deviation was observed in the values obtained with the Bahco technique compared with the laser method as particle size became smaller. There was therefore a larger variation between both techniques as particle diameter decreased; this can be seen in figure 5. The figure shows the mean granulometric values of the sample of Portland cement calculated statistically from the result obtained by the different participating laboratories. This trend would be the opposite of what is seen in figure 4, for the differences in the mean values of the grain sizes obtained with the Bahco technique compared with those obtained by laser, when taken in absolute values. However, when this concept is not used, the relationship between the results obtained by both techniques would have the same meaning (Fig. 2).

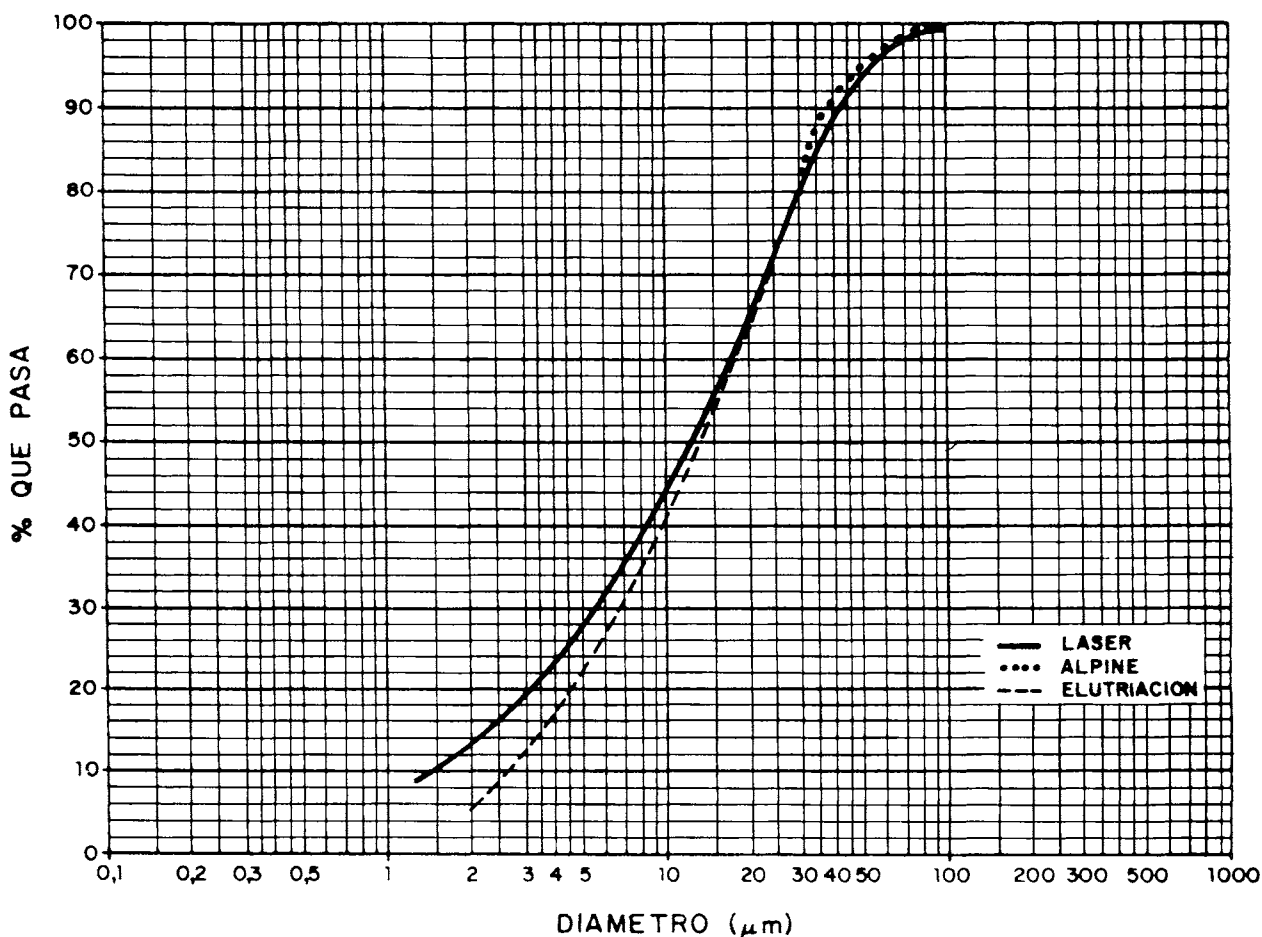


Fig. 5.—Curvas de distribución del tamaño de partículas de un cemento portland obtenidas mediante diferentes técnicas instrumentales (campaña CERILH 85/86).

Fig. 5.—Distribution curves of particle size of a portland cement obtained with different instrumental techniques (CERILH 1985/86).

## BIBLIOGRAFIA

- (1) J.P. MERIC, Y. LE JEAN, J.F. CARON (1974). *Revue des Matériaux de Construction*, 688, pp. 179-183.
- (2) J.P. MERIC (1974). *Revue des Matériaux de Construction*, 687, pp. 80-83.
- (3) J. CORNILLAUD, P. EVRAUD (1975). *Cement Technology*, 2, pp. 78-79.
- (4) G. PINTOR (1977). *II Cemento*, 1, pp. 15-21.
- (5) H. BARROT, A. BONNET (1987). *Essais Interlab. CERILH. Paris*.
- (6) M. FRIAS, M.P. LUXAN, M.I. SANCHEZ DE ROJAS (1988). *Materiales de Construcción*, 38, 212, pp. 37-52.
- (7) M.P. LUXAN, M. FRIAS, M.I. SANCHEZ DE ROJAS (1988). *Química Hoy*, 5, pp. 59-61.
- (8) Norma UNE 83 415. "Adiciones al Hormigón. Cenizas Volantes. Definición, Especificaciones, Transporte y Almacenamiento de las Cenizas Volantes utilizadas como Adición a los Hormigones y Morteros de Cemento Portland".
- (9) H. BARROT (1986). *Essais Interlab. CERILH. PARIS*.

\* \* \*

# LA PUESTA EN OBRA DE LOS REVESTIMIENTOS DELGADOS SOBRE AISLAMIENTO TERMICO EN FACHADAS.

## EL MANUAL K'APLIC

ICCET/CSIC

El tema de la rehabilitación de edificios, junto con el del ahorro energético, están cobrando día a día mayor importancia dentro del sector de la construcción. En consecuencia esto está sucediendo con la utilización de sistemas de protección térmica por el exterior, que permiten resolver simultáneamente tanto los problemas de aislamiento, como los de resistencia a agentes atmosféricos y el aspecto de las fachadas.

La puesta en obra de estos sistemas es aparentemente sencilla, pero resulta imprescindible para un buen comportamiento, respetar una serie de reglas de buena práctica durante la realización ya que, de lo contrario, se está abocado al fracaso.

Es preciso recordar de igual manera, que se trata de unidades de obra cuyo precio es relativamente elevado.

Consciente de estas circunstancias, el INSTITUTO EDUARDO TORROJA publica el MANUAL DE PUESTA EN OBRA DE REVESTIMIENTOS DELGADOS SOBRE AISLAMIENTO TERMICO, K'APLIC, editado por el CENTRE SCIENTIFIQUE ET TECHNIQUE DU BÂTIMENT, que tiene señalado interés práctico tanto para los responsables de las obras, como para los contratistas generales y los propios aplicadores.

La publicación puede ser adquirida en librerías especializadas y en el propio Instituto Eduardo Torroja de la Construcción y del Cemento, Serrano Galvache, s/n, 28033 Madrid. El precio de venta es de 500 pesetas.

